

CLIMATOLOGÍA DEL VIENTO SOBRE LA PENINSULA IBÉRICA: OBSERVACIONES Y MODELOS

Juan P. MONTÁVEZ¹, Raquel LORENTE-PLAZAS¹, Sonia JEREZ¹, Pedro JIMÉNEZ-GUERRERO¹, Juan Andrés GARCIA-VALERO², Pedro A. JIMÉNEZ³

¹*Departamento de Física, Universidad de Murcia, Murcia, España.*

²*AEMET, Delegación de Murcia, España*

³*NCAR, Mesoscale and Microscale Meteorology division, EEUU*

montavez@um.es, lorente.plazas@gmail.com, sonia.jerez@gmail.com, pedro.jimenezguerrero@um.es,
jugarciav@aemet.es, jimenez@ucar.edu

RESUMEN

En este trabajo se presenta la climatología del viento en la Península Ibérica (PI) obtenida a partir de datos de más de 500 estaciones con registros horarios para el periodo 1999-2007. Se describen distintos aspectos; rosa de los vientos, funciones de distribución de probabilidad, ciclo anual y respuesta a distintos tipos de circulación del campo de vientos a escala regional (20 regiones). Las regiones fueron obtenidas a partir de un análisis clúster imponiendo máxima similitud temporal entre las series observacionales.

En un segundo apartado se evalúa la capacidad de un modelo climático regional para reproducir la climatología del viento sobre la PI. Dicha simulación cubre el periodo 1959-2007. Esta base de datos simulada nos permite evaluar la fiabilidad de la climatología de los datos observados, que puede sufrir carencias debido a los valores perdidos, el corto periodo instrumental y la cobertura espacial de las observaciones. Además, estos datos permiten analizar la variabilidad del viento en superficie en un período largo y evaluar las tendencias y su relación con los cambios en la dinámica.

Palabras clave: viento, Península Ibérica, modelos climáticos regionales, tipos de circulación, regionalización

ABSTRACT

In this work the wind climatology of the Iberian Peninsula is presented. It has been obtained using more than 500 weather stations with hourly records for the period 1999-2007. Wind Roses, annual cycles and probability distribution functions as well as the response of the wind field to circulation types are characterized at regional scale. Regions are obtained using a cluster analysis, grouping places with similar temporal variability.

On the other hand, the ability of a Regional Climate model for reproducing the wind climatology is evaluated. The regional climate run covers the period 1959-2007. The obtained data base permits to evaluate the spatial and temporal limitations (spatial coverage and short time) of the observational data and the confidence that one can have on the climatology previously presented. In addition it permits to obtain some other characteristics of the wind field at longer time scales such as trends and its relation with changes in the atmospheric circulation

Key words: wind, Iberian Peninsula, Regional Climate Model, Circulation types, Regionalization.

1. INTRODUCCIÓN

Una mejora en la caracterización de los vientos y un mayor conocimiento de los mecanismos físicos involucrados en su generación puede beneficiar a multitud de campos de investigación, aplicaciones empresariales y consecuentemente mejorar nuestra calidad de vida. Los vientos transportan contaminantes y material particulado que afectan a multitud de enfermedades respiratorias, polinizan las plantas, determinan las trayectorias de los pájaros, controlan la propagación de los fuegos, erosionan las costas, etc. Además, la energía cinética de los vientos puede utilizarse para generar energía eléctrica de manera limpia.

El viento presenta una gran variabilidad tanto espacial como temporal que resulta de complejas conexiones entre diferentes procesos que se dan a diferentes escalas. Las heterogeneidades del terreno, como son distintos tipo de suelos y la orografía, tiene un papel relevante en esta variabilidad (Whiteman, 2008). Estas características dificultan su comprensión y en última instancia su precisa predicción. El estudio del viento puede abordarse desde dos perspectivas; desde el punto de vista observacional o mediante el uso de modelos numéricos.

En los últimos años, la instalación de nuevas estaciones meteorológicas automáticas, junto al establecimiento de los protocolos de medida (WMO, 2008) han favorecido la disponibilidad de datos de viento con mayor resolución temporal y cobertura espacial. Este hecho ha supuesto un importante avance en el entendimiento de la variabilidad del viento. No obstante, varias razones hacen que los datos obtenidos tengan que ser sometidos a controles de calidad que garanticen la fiabilidad de los mismos (DeGaetano, 1997). Por otro lado, el avance de los ordenadores en las últimas décadas ha supuesto un punto de inflexión en el desarrollo de modelos numéricos y por ende en el de los modelos atmosféricos. A finales de los ochenta y principios de los noventa, surgen los modelos regionales (MR) o de área limitada (Giorgi, 1990) que se basan en las ecuaciones de la dinámica atmosférica, pero sólo simulan una región del planeta. Esto reduce el coste computacional, permitiendo aumentar considerablemente la resolución espacial. Sin embargo, los MR necesitan de unas condiciones de contorno. Para ello, una práctica habitual es utilizar como condiciones de contorno los datos de *reanálisis*, una interesante mezcla entre realidad observada y simulación.

Los MR generan registros homogéneos espacial y temporalmente que pueden ser utilizados como bases de datos climáticas *pseudoreales*. Si estas bases de datos son capaces de reproducir correctamente el clima observado en lugares donde se disponga de datos, se puede suponer que también lo hacen en tiempos y lugares donde no se disponga de ellos, convirtiéndose en un herramienta muy potente. Por lo tanto, la evaluación de dichas bases de datos es fundamental para poder establecer la confianza en ellas, además de posibilitar la identificación de errores en la representación de distintos procesos físicos. Esto abre las puertas a la mejora de la física incluida en dichos modelos.

En este marco, este trabajo se centra en la caracterización del viento observado en la Península Ibérica mediante una bases de datos de observaciones con más de 500 estaciones. Además, la capacidad de los modelos climáticos regionales para reproducir la climatología del viento es analizada. La Península Ibérica (PI) ha sido elegida como región de estudio porque su complejidad orográfica y su influencia de la gran escala hacen que ésta sea el escenario perfecto donde tienen lugar una amplia variedad de regímenes de viento.

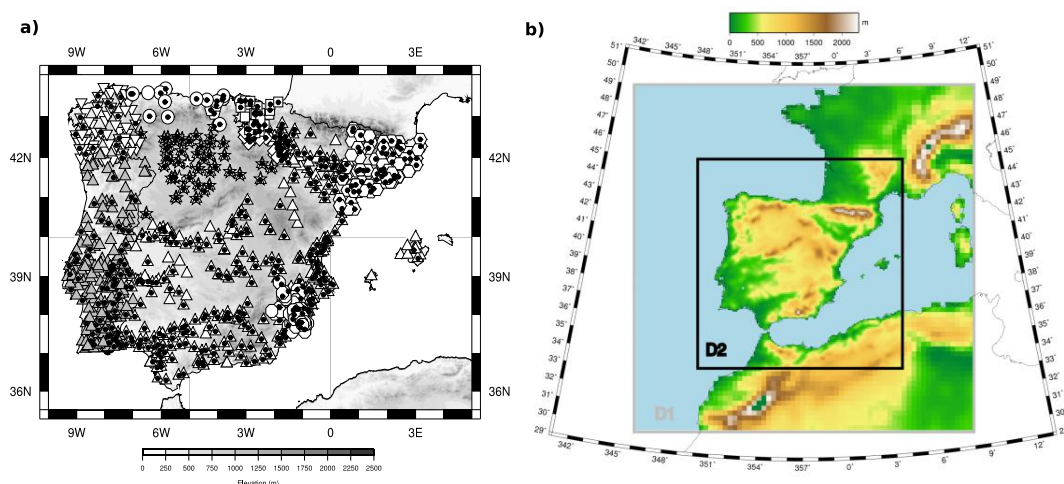


Figura 1. {a) Distribución espacial de las estaciones meteorológicas. Los símbolos representan las diferentes instituciones que proporcionaron datos y las cruces negras denotan las estaciones seleccionadas tras el control de calidad. b) Configuración espacial de los dominios usados en la simulación climática. D1 y D2 representan los dominios anidados con una resolución espacial de 30 km y 10 km, respectivamente.

2. BASES DE DATOS

2.1. Observaciones

Una adecuada caracterización del viento en superficie en la PI requiere gran número de datos puesto que esta variable meteorológica presenta gran variabilidad espacial. Se han recopilado registros de la dirección y de la velocidad del viento de 868 estaciones meteorológicas durante el periodo 1999-2007 (Figura 1), proporcionados por ocho instituciones españolas como portuguesas. Todos los datos fueron unificados a una misma resolución temporal (1 h) y a una misma altura de sensor (10 m) considerando la aproximación logarítmica del viento con la altura (Stull, 1988) con una rugosidad del terreno variable. La base de datos original fue sometida a un estricto control de calidad siguiendo la metodología expuesta en Jiménez *et al*, (2010). Los registros cuestionables, de acuerdo al control de calidad, fueron etiquetados como valores perdidos. Las estaciones con alto porcentaje de valores perdidos (superior al 50%) fueron eliminadas de la base de datos. Por otro lado, se ha escogido un periodo que contenga al menos un 90% de estaciones en común. Finalmente, considerando lo anterior se ha creado una base de datos con 514 series horarias de velocidad y dirección del viento, cubriendo el periodo 2002-2007 (Lorente *et al*, 2014).

2.2. Simulación Regional.

La simulación climática regional ha sido realizada con el *Fifth-Generation Pennsylvania State University - National Center for Atmospheric Research Mesoscale Model* (MM5) (Grell, 1994). El MM5 ha sido ampliamente usado en estudios climáticos (Jiménez- Guerrero 2013, Jerez *et al* 2013) , y diversos estudios apoyan su adecuada habilidad para reproducir el clima en la PI (Fernández *et al*, 2007, Gómez-Navarro *et al*, 2010) entre otros muchos.

La configuración espacial empleada consiste en dos dominios anidados bidireccionalmente sobre la IP (Figura 1). El dominio exterior/interior tiene una resolución espacial de 30/10 km. Verticalmente la simulación consta de 28 niveles sigma con el tope a 100 hPa. El periodo simulado engloba desde 1959 hasta 2007, con resolución temporal horaria. Las parametrizaciones físicas usadas han sido seleccionadas teniendo en cuenta previos estudios

sobre la IP (Fernández *et al*, 2007, Jerez *et al*, 2013^a, Jerez et al 2012). Se ha usado; la parametrización de cúmulos de Grell (Grell, 1993), el esquema *Simple Ice* para microfísica (Dudhia, 1989), MRF para la capa límite (Hong and Pang, 1996) y el esquema de radiación de onda larga RRTM (Mlawer *et al*, 1997). El modelo de suelo usado es NOAH (Chen and Dudhia, 2001).

Las condiciones de contorno e iniciales para realizar la simulación han sido los re-análisis del centro Europeo de predicción a medio plazo ERA40 (Uppala *et al*, 2005) cubriendo el periodo 1958-2002 y los análisis para 2002-2007, cuya resolución espacial es 1.125°. Los datos de la topografía y usos de suelo fueron obtenidos por U.S. Geological Survey (USGS) (Loveland *et al*, 2000).

3. METODOLOGÍA

Con el fin de simplificar la descripción de la climatología del viento así como la validación de las simulaciones regionales se ha llevado a cabo una división del área de estudio en distintas regiones. Estas regiones han sido obtenidas mediante un análisis *clustering* aplicado a las series medias diarias del módulo del viento. La metodología consistió en la aplicación de un método no jerárquico (k-means) utilizando como semillas una clasificación previa mediante un método jerárquico (Ward) aplicado a los modos principales de variabilidad obtenidos mediante un análisis de componentes principales (Lorente *et al*, 2014). Esta metodología ha permitido extraer la señal regional filtrando el detalle local.

El análisis del viento en la PI en base a las regiones obtenidas ha consistido en la descripción del ciclo anual, las rosas de viento estacionales, las funciones de distribución del módulo del viento así como la respuesta estacional a distintas situaciones meteorológicas tipo y la correlación temporal entre las distintas regiones. Para ello se ha usado una clasificación previa de las situaciones sinópticas que gobiernan la PI (García-Valero *et al*, 2012). Estos tipos de circulación (CTs) fueron obtenidos a partir de la presión a nivel del mar y la altura geopotencial a 500 hPa de los re-análisis y análisis para el periodo 1958-2008.

Para llevar a cabo la comparación de los datos simulados y observados, las series simuladas son espacial y temporalmente mascareadas. El mascareado espacial se realiza usando los cuatro puntos de malla más cercanos a la observación e interpolado pesando con la distancia. El mascareado temporal corresponde a eliminar los registros perdidos en las observaciones.

4. RESULTADOS

3.1. Caracterización del viento

Una vez creada esta base de datos con observaciones de gran densidad espacial, el primer objetivo de este trabajo ha sido caracterizar el viento en la PI. Un análisis preliminar a escala local del comportamiento medio anual y estacional del viento evidencia la gran variabilidad

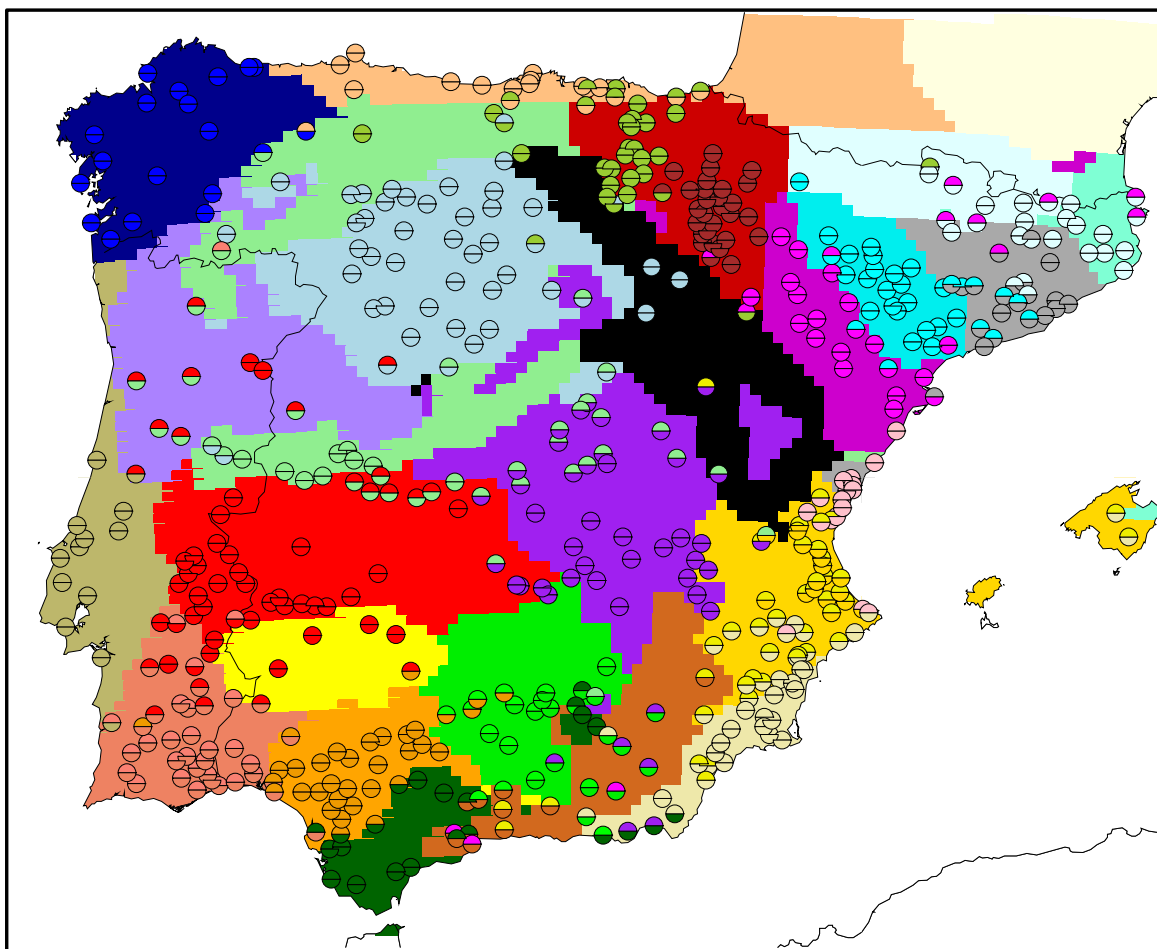


Figura 2. Regiones obtenidas usando las observaciones (semicírculos superiores), usando la simulación mascareada temporal y espacialmente según las observaciones (semicírculos inferiores) y usando todos los puntos de malla de la simulación (áreas coloreadas). Los diferentes colores representan diferentes regiones

espacial de sus magnitudes. En el análisis a escala regional, tras evaluar los distintos posibles grupos, se han considerado 20 regiones como el óptimo para nuestro estudio. Las regiones obtenidas están muy relacionadas con los principales accidentes geográficos de la península, mostrando la mayoría de ellas una gran coherencia.

El análisis de los ciclos anuales de la velocidad del viento revela una gran variabilidad entre las diferentes regiones (Figura 3). El máximo absoluto del viento se da a finales de invierno en el norte, en verano en el centro y sur de Portugal, en primavera en el centro peninsular y acompañado en un máximo secundario en verano en el Mediterráneo. Destaca el ciclo anual del valle del Ebro con tres máximos característicos. La diversidad regional también está presente en el análisis de las rosas de los vientos (Figura 3). Algunas de ellas están influenciadas por la variabilidad estacional, como las zonas costeras del Cantábrico y el Mediterráneo y el valle del Guadalquivir con direcciones predominantes opuestas en verano e invierno. En cambio, las rosas son prácticamente unidireccionales tanto en el valle del Ebro como en la costa Atlántica.

3.2. Validación de la simulación regional.

La habilidad de la simulación regional para reproducir el comportamiento del viento es validada usando los 6 años de observaciones usadas en la caracterización del viento. La

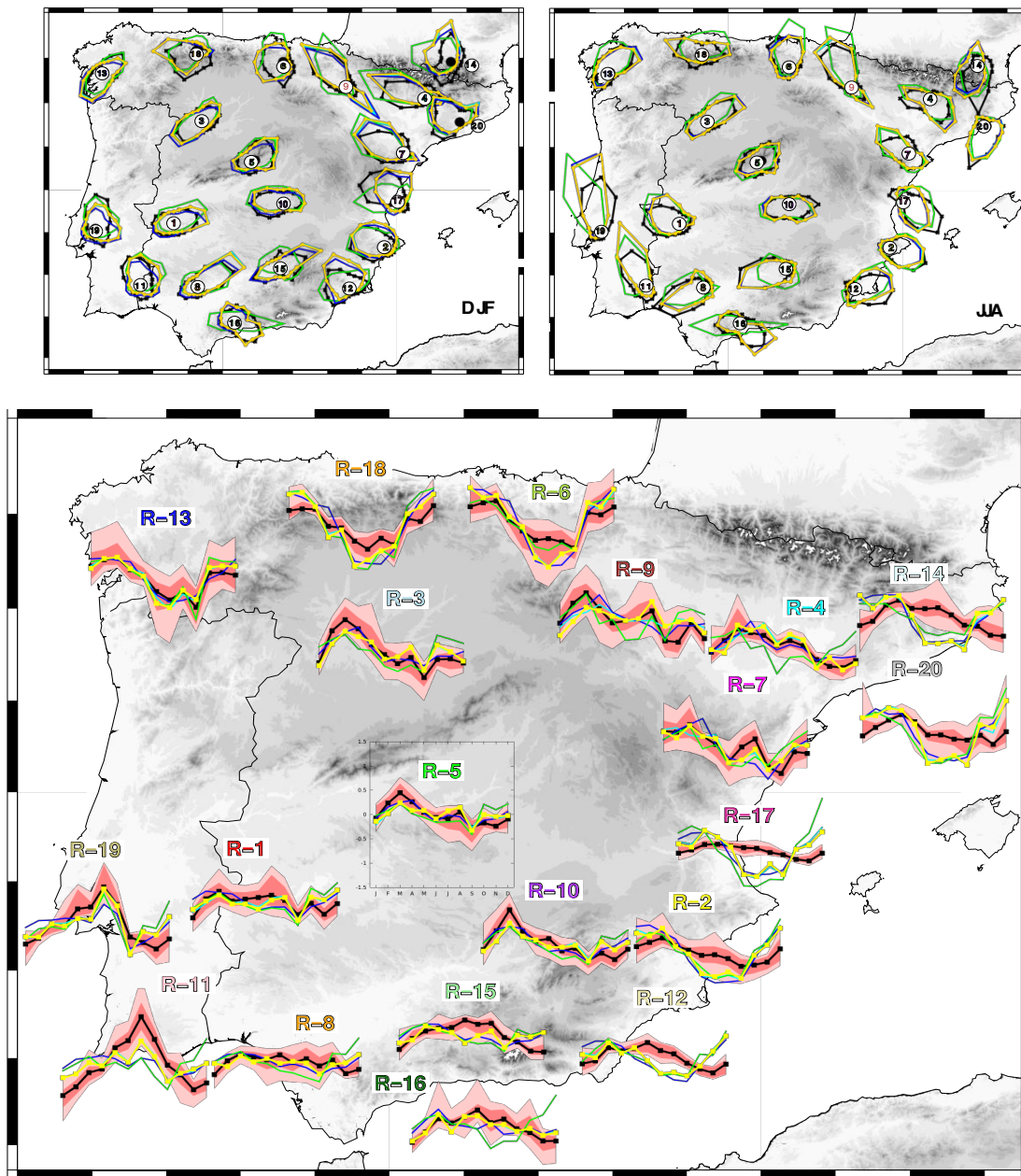


Figura 3. Ciclo anual del viento en las regiones obtenidas con las observaciones (figura abajo). Usando las observaciones, las líneas negras representan el ciclo anual medio y los percentiles 25-75 y 10-90, en rojo y rosa sombreado, respectivamente. Para la simulación climática regional, el ciclo anual usando las series temporal y espacialmente mascareadas (líneas amarillas), sin considerar los valores perdidos (líneas cian) en el período de las observaciones y usando el periodo completo 1957-2008 para la simulación (líneas azul marino) y el reanálisis (verde). Las rosas del viento se muestran para invierno (arriba izquierda) y para verano (arriba derecha).

comparación se ha llevado a cabo a escala local (comparando estación a estación) y a escala regional, utilizando tanto las propias regiones establecidas en la regionalización observacional como aplicando la misma metodología a los datos simulados. La Figura 3 muestra el ciclo anual en cada región calculado como el promedio de los ciclos anuales después de quitar la media anual de la velocidad del viento. La simulación es capaz de reproducir adecuadamente los ciclos anuales, excepto en el Mediterráneo y en los Pirineos donde no reproduce el mínimo de la velocidad del viento en verano. El modelo presenta también algunas

deficiencias en el Valle del Guadalquivir y sur de Portugal. El análisis de las rosas de los vientos muestra como el modelo es capaz de reproducir los cambios estacionales en la dirección del viento debidos a circulaciones térmicas como son las brisas y los vientos de valles (Figura 3, arriba). Aunque la frecuencia de vientos valle abajo es sobreestimada. Los peores resultados se dan en los Pirineos debido a su complejidad orográfica, sin embargo, en zonas como la meseta norte y sur, las rosas de los vientos simuladas se ajustan perfectamente a las observaciones.

La respuesta de las anomalías de la velocidad del viento y de la dirección media del viento ante los diferentes Tipos de Circulación (TCs) es analizada para la simulación considerando las distintas estaciones del año (Figura 4, sólo se representa el invierno). Ésta es capaz de reproducir la variabilidad regional promovida por cada TC incluso en situaciones peculiares como la TC9 donde sólo el Valle del Ebro presenta anomalías positivas o TC6 donde aparece un patrón de anomalías dipolar entre la vertiente atlántica y la mediterránea. La simulación representa bien tanto las situaciones de fuerte gradiente de presión como las situaciones anticiclónicas con bajo gradiente (TC1 y TC2). En general, para la mayoría de los TCs, la dirección media del viento simulado presenta un sesgo hacia el viento geostrófico. Las mayores discrepancias tanto en anomalías del módulo del viento como en dirección media se encuentran en los Pirineos, especialmente en verano.

Hasta ahora la simulación ha sido evaluada usando las regiones que se obtuvieron con las observaciones. Ahora nos planteamos cuales serían las regiones obtenidas con la simulación usando una metodología de regionalización análoga. Según dicho análisis podrían considerarse 21 regiones. La distribución espacial de dichas regiones (ver Figura 2) es similar a la de las observaciones pudiendo establecer una relación bidireccional entre ambas a excepción de la nueva región que se encuentra al sur del Sistema Bético. Este resultado refuerza la habilidad de la simulación en reproducir la variabilidad espacial.

Las simulaciones regionales aportan un importante valor añadido respecto a las condiciones de contorno, en especial para la dirección del viento y en regiones de topografía compleja (Figura 3). Sin embargo, el mayor defecto de la simulación es la sobrestimación de la velocidad del viento, especialmente en la costa Atlántica y Mediterránea y en los Pirineos. Este sesgo no es atribuible a los datos de re-análisis usados. Las diferencias entre modelo y observaciones en el viraje del viento hacia las bajas presiones apunta a la infraestimación de fuerzas de fricción como causa probable de este defecto.

3.3. Impacto de las limitaciones de las observaciones.

En un procedimiento bidireccional raramente encontrado en la bibliografía (Jiménez *et al*, 2010^a), la simulación ha sido usada para evaluar las limitaciones de la base de datos observacional. La homogeneidad temporal de la simulación permite evaluar la aleatoriedad de los valores perdidos en las series. La extensa longitud del periodo simulado es idónea para chequear la representatividad de una climatología elaborada con tan sólo 6 años de datos. Por último, la homogeneidad de la distribución espacial de datos simulados permite comprobar si la falta de datos en una región conlleva la pérdida de algún régimen de viento. Los resultados (ver Figuras 2 y 3) apuntan a que los valores perdidos de las series no influyen significativamente en nuestros resultados, mientras que el periodo disponible de registros (2002-2007) puede ser insuficiente para caracterizar la climatología del viento en el oeste peninsular. Además, las 514 estaciones son capaces de distinguir los principales modos de

variabilidad de la PI. No obstante, sería necesario incluir más estaciones meteorológicas en algunas regiones montañosas tales como el Sistema Ibérico.

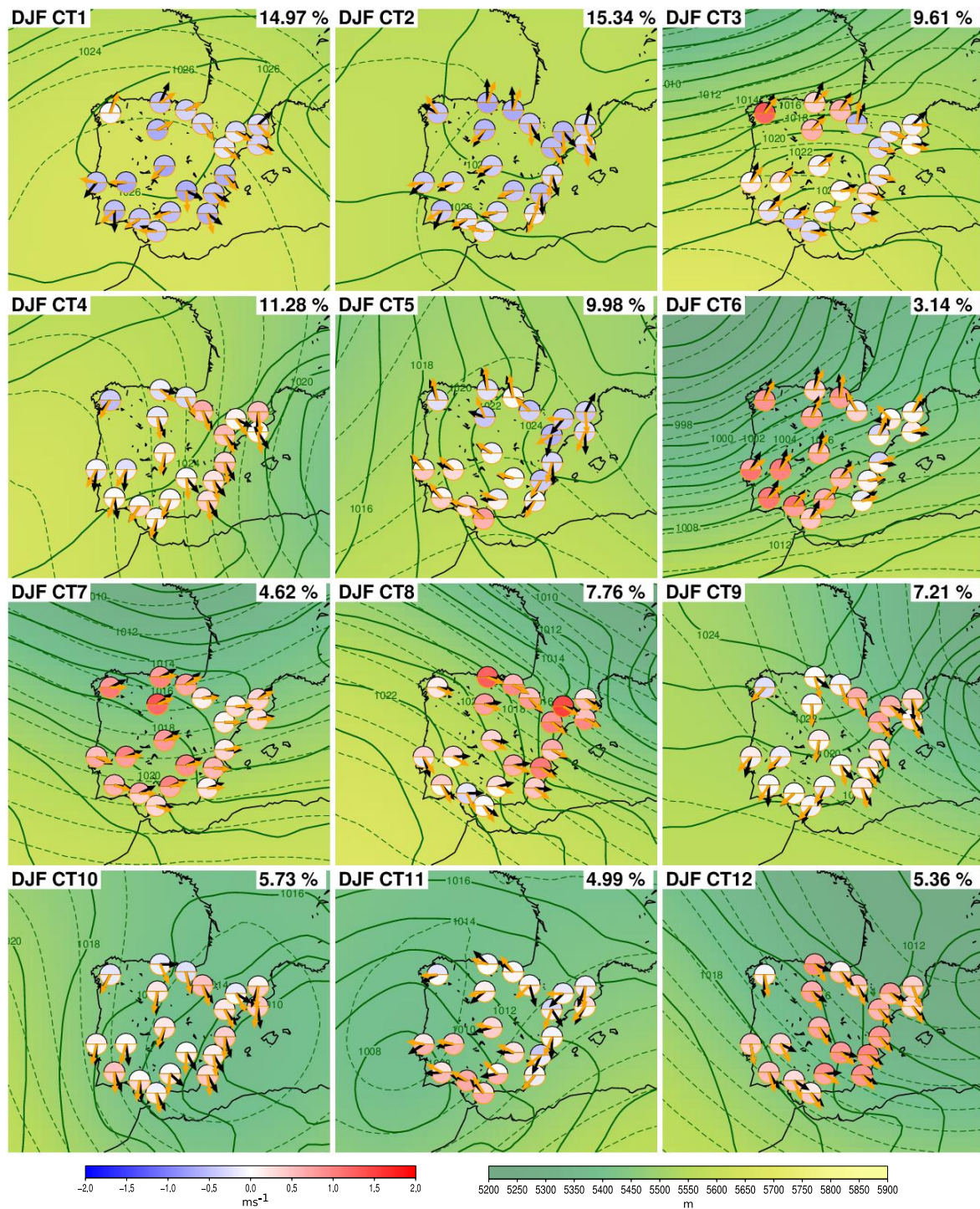


Figura 4. Tipos de tiempos obtenidos por García-Valero *et al.* (2012) y sus patrones de viento asociados para el modelo y las observaciones. Altura geopotencial a 500 hPa se representa en verde sombreado y las líneas discontinuas. La presión a nivel del mar se muestra en líneas verdes continuas. Los círculos representan las anomalías de la velocidad del viento para las observaciones (semicírculos superiores) y para la simulación (semicírculos inferiores). Las flechas representan la dirección media del viento para las observaciones (negro) y para la simulación (naranja). El porcentaje de ocurrencia de cada CT para el periodo 2002-2007 se muestra en la esquina superior de cada TC.

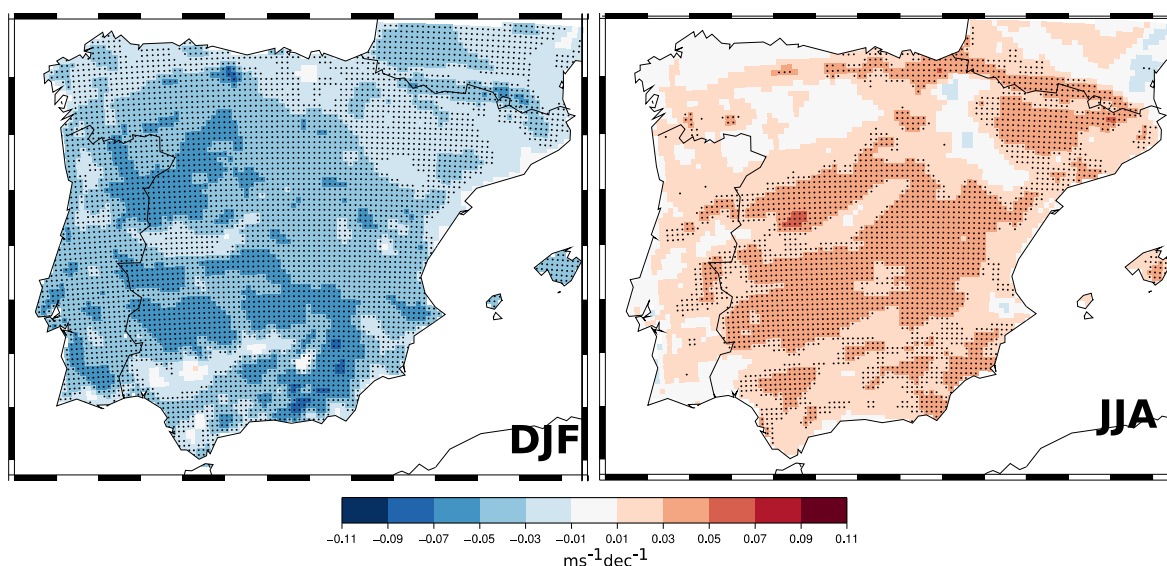


Figura 5 . Tendencias de la velocidad del viento (primera columna) y para el percentil 90 (segunda columna) para el periodo 1959-2007 en invierno (primera fila) y verano (segunda fila). Los colores representan la magnitud de la tendencia. Los puntos negros indican donde la tendencia es significativa.

3.4. Variabilidad interanual del módulo del viento

Las tendencias han sido calculadas para cada punto de malla considerando el periodo completo simulado (1959-2007). Para el análisis se ha usado un ajuste lineal y la significancia estadística de las tendencias se han evaluado mediante el test de Mann-Kendall. Las tendencias han sido calculadas para las series temporales de la velocidad del viento estacionalmente. La Figura 5 muestra los resultados para verano e invierno, destacando los puntos donde las tendencias son significativas con un 95% de nivel de confianza.

En invierno, se muestra una tendencia negativa de la velocidad del viento en un 89 % de los puntos de malla. Estas tendencias son mayores en la meseta norte y en el Sistema Bético. Sin embargo, en el valle del Guadalquivir y en Cataluña las tendencias no son significativas. Contrariamente, en verano las tendencias son positivas, especialmente en el centro de la Península Ibérica, el sureste y los Pirineos. Estas tendencias son significativas en un 46% de los puntos.

Las tendencias negativas de invierno podrían estar asociadas a una disminución de las situaciones ciclónicas (CT6 y CT10) y a un aumento de las situaciones anticiclónicas (CT2), según apunta el trabajo de García-Valero *et al*, (2012). Por otro lado, las tendencias positivas del verano pueden estar relacionadas con un aumento de las situaciones que favorecen la baja térmica Ibérica como consecuencia de un aumento de las temperaturas en la Península Ibérica.

4. CONCLUSIONES

La descripción de la climatología del viento presentada en este trabajo es una mejora muy notable a las anteriormente realizadas y supone un avance importante en este campo.

Los resultados muestran que la simulación es capaz de reproducir satisfactoriamente las principales características del viento en la PI (Lorente-Plazas *et al*, 2014); ciclos anuales, rosas de viento, variabilidad espacial y temporal así como la respuesta a los diferentes tipos de circulación. La habilidad del modelo en reproducir el comportamiento del viento es especialmente buena en las mesetas y zonas de baja complejidad orográfica, presentando las mayores discrepancias en los Pirineos y el Mediterráneo. En general, la principal debilidad de

la simulación es la sobrestimación de la velocidad del viento, especialmente en el Mediterráneo. Los resultados de la validación demuestran que este sesgo podría estar relacionado con una infraestimación de las fuerzas de rozamiento.

La evaluación de las limitaciones de las observaciones muestran que el periodo disponible puede ser demasiado corto para estudiar la climatología del viento en el oeste de la PI. También se pone en evidencia la necesidad de incluir más estaciones en zonas montañosas tales como el Sistema Ibérico.

El análisis de las tendencias muestra una disminución de la velocidad del viento en invierno asociada a un menor porcentaje de situaciones ciclónicas. Sin embargo, en verano las tendencias son positivas y podrían atribuirse a una intensificación de la baja térmica Ibérica.

Las bases de datos tanto de observaciones como simuladas presentadas en este estudio pueden contribuir a diversas aplicaciones. En el marco de las energías renovables, éstas han sido utilizadas para calcular el potencial eólico en España (Lorente-Plazas *et al*, 2012).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) por medio de los proyectos MINIEOLICA (PSE.120000.2007.14), CORWES (CGL210-22158) y SPEQ-TRES (CGL2011-29672-C02-02). Los autores agradecen a las instituciones que han hecho posible el uso de los datos meteorológicos; Centro de Investigación del Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria, Servei Meteorològic de Catalunya, la Subdirección General de Regadíos y economía del agua del MAPA del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, la Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostenible de Galicia, Servicio de Información de la Rioja, la Agencia Estatal de Meteorología, Euskalmet y el Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal, y el IMIDA. También agradecemos a Nuno Ratola y Santiago Bermúdez Navarro la ayuda en la recolección inicial de los datos.

5. REFERENCIAS

- Chen F. y J. Dudhia (2001). *Coupling an Advanced Land Surface-Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Preliminary Model Validation*. Monthly Weather Review, 129: pp 587-604.
- DeGaetano A.T. (1997) *A quality-control routine for hourly wind observations*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 14(2). pp 308-317
- Dudhia J. (1989). *Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model*. Journal of the Atmospheric Sciences, 46(20): pp 3077-3107
- Fernández J., J.P. Montávez, J. Saenz, J.F. González-Rouco, y E. Zorita (2007). *Sensitivity of the MM5 mesoscale model to physical parameterizations for regional climate studies: Annual cycle*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 112(D4): pp D04101.
- García-Valero J.A, J.P. Montávez, S. Jerez, J.J. Gómez-Navarro, R. Lorente-Plazas, y P. Jiménez-Guerrero (2012). *A seasonal study of the atmospheric dynamics over the Iberian Peninsula based on circulation types*. Theoretical and Applied Climatology, 110(1-2): pp 291-310
- Giorgi, F. (1990). *Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model*. Journal of Climate, 3(9): pp 941-963.
- Gómez-Navarro, J. P. Montávez, P. Jiménez-Guerrero, S. Jerez, J. A. García-Valero, y J. F. González-Rouco

- (2010). *Warming patterns in regional climate change projections over the Iberian Peninsula*. Meteorologische Zeitschrift, 19(3) : pp 275--285.
- Grell, G.A (1993). *Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations*. Monthly Weather Review , 121(3)
- Grell, G.A., J. Dudhia, y D. R. Stauer (1994). *A description of the _fth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)*. NCAR Tech. Note NCAR/TN-398 1 STR, 1994.
- Hong S.Y y H. L. Pan (1996). *Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model*. Monthly Weather Review , 124: pp 2322-2339.
- Jerez S., J.P. Montávez, J.J. Gómez-Navarro, P.A. Jiménez, P. Jiménez-Guerrero, R. Lorente, y J.F. González-Rouco (2012). *The role of the land-surface model for climate change projections over the Iberian Peninsula*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres ,117 (D1)
- Jerez S, J.P. Montavez, P. Jiménez-Guerrero, J.J. Gómez-Navarro, R. Lorente-Plazas, y E. Zorita (2013). *A multi-physics ensemble of present-day climate regional simulations over the Iberian Peninsula*. Climate Dynamics , 40(11-12): pp 3023-3046.
- Jiménez P.A., J.F. González-Rouco, E. García-Bustamante, J. Navarro, J P. Montávez, J. Vila-Guerau de Arellano, J. Dudhia, y A. Roldan. *Surface wind regionalization over complex terrain: evaluation and analysis of a high resolution WRF numerical simulation*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49:268{287, 2010.
- Jiménez P.A. , J.F. González-Rouco, J. Navarro, J.P. Montávez, y E. García-Bustamante (2010). *Quality assurance of surface wind observations from automated weather stations*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology , 27(7): pp 1101-1122.
- Jiménez-Guerrero P, JP Montávez, M. Domínguez, R. Romera y otros (2013) *Mean fields and interannual variability in RCM simulations over Spain: the ESCENA project*. Climate Research 57: pp 201-220
- Lorente-Plazas R., J.P. Montávez, S. Jerez, J.J. Gómez-Navarro, P. Jiménez-Guerrero, J.A. García-Valero, F. Gomariz-Castillo, y F. Alonso-Sarria (2012). *Eolmap: A web tool to assess the wind resource over Spain*. Renewable Energy & Power Quality Journal , 10: pp 95-105.
- Lorente-Plazas, R., Montávez, J. P., Jiménez, P. A., Jerez, S., Gómez-Navarro, J. J., García-Valero, J. A. and Jimenez-Guerrero, P. (2014), *Characterization of surface winds over the Iberian Peninsula*. International Journal of Climatology . doi: 10.1002/joc.4034
- Loveland T.R, B.C. Reed, J.F. Brown, D.O. Ohlen, Z. Zhu, L. Yang, y J.W. Merchant (2000). *Development of a global land cover characteristics database and IGBP discover from 1 km AVHRR data*. International Journal of Remote Sensing, 21(6-7): pp 1303-1330
- Mlawer M, S.J. Taubman, P.D. Brown, M.J. Iacono, y S.A. Clough (1997). *Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave*. Journal of Geophysical Research, 102: pp 16663-16682
- Stull R.B (1998). *An introduction to boundary layer meteorology* . Kluwer Academic Publishers..
- Uppala, P.W. K allberg, A.J. Simmons, U. Andrae, V. Bechtold, M. Fiorino, J.K. Gibson, J. Haseler, A. Hernandez, y G.A. Kelly (2005). *The ERA-40 reanalysis*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society , 131(612): pp 2961-3012.
- Whiteman C.D. (2008). *Mountain meteorology: fundamentals and applications* . Oxford University Press, 2000.
- WMO (2008) *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. Technical report, WMO-No. 8, Geneva.